

Verfahren und Einrichtung zur Steuerung einer thermischen Strömungsmaschine

Publication number: CH407401
Publication date: 1966-02-15
Inventor: DR JENNY ERNST ING (CH)
Applicant: BBC BROWN BOVERI & CIE (CH)
Classification:
- international: *F01D17/16; F01D17/00; (IPC1-7): F04D*
- European: F01D17/16D
Application number: CH19630012503 19631011
Priority number(s): CH19630012503 19631011

Report a data error here

Abstract not available for CH407401

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES AMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Klassierung: 27 c, 13/01
Int. Cl.: F 04 d

Gesuchsnummer: 12503/63
Anmeldungsdatum: 11. Oktober 1963, 19 Uhr
Patent erteilt: 15. Februar 1966
Patentschrift veröffentlicht: 31. August 1966

S

HAUPTPATENT

Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., Baden

Verfahren und Einrichtung zur Steuerung einer thermischen Strömungsmaschine

Dr. Ing. Ernst Jenny, Baden, ist als Erfinder genannt worden

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Steuerung einer thermischen Strömungsmaschine, die mindestens eine Reihe Laufschaufeln und eine Reihe unverdrehbarer Leitschaufeln aufweist und deren die Strömung durch die Maschine begrenzenden Gehäusewände als feststehende Bauteile ausgebildet sind.

In vielen Fällen genügt der Arbeitsbereich einer thermischen Strömungsmaschine mit einem Gitter feststehender Leitschaufeln nicht für alle Betriebsanforderungen. Beispielsweise ist es bei Turbinen oft erwünscht, ihr Schluckvermögen und damit ihre Leistungsabgabe rasch ändern zu können. Von ein- oder mehrstufigen Verdichtern zur Speisung von Druckluftnetzen, in der chemischen Industrie oder in Stahlwerken wird oft ein sehr breiter Förderbereich mit annähernd konstantem Förderdruck verlangt. Ein ähnliches Problem besteht bei Abgas-turboverdichtern an Motoren, die über einen weiten Drehzahlbereich hohen Mitteldruck abgeben müssen. Der Aufladedruck nimmt aber bei unveränderlichem Leitapparat im Turboverdichter mit sinkender Motordrehzahl stark ab. Um dies zu verhindern, sollte einerseits der Durchflußquerschnitt des Leitapparates der Radial- oder Axialturbine verkleinert werden können, andererseits muß das Pumpen des Verdichters verhindert werden. Selbst bei festem Leitapparat der Turbine können am Verdichter Schwierigkeiten auftreten. Bei Viertaktmotoren wandert der Betriebspunkt, wenn die Motordrehzahl bei konstantem Mitteldruck verringert wird, auf einer Kurve, die flacher ist als die Pumpgrenze des Verdichters, so daß bei reduzierter Drehzahl Pumpneigung besteht. Die gleiche Schwierigkeit tritt bei Zweitaktmotoren unter geringer Last auf, wenn der Turboverdichter parallel zu motor- oder fremdgetriebenen Spülverdichtern fördern muß. Dieser letztere Fall soll zur

Verdeutlichung eingehender besprochen werden; er stellt jedoch nur eines der Probleme dar, die durch die vorliegende Erfindung ihre Lösung finden.

Im Schaubild Fig. 1 bedeutet V das angesaugte bzw. geförderte Luftvolumen, p den Aufladedruck. Ein Zweitaktmotor schluckt eine Luftmenge entsprechend der parabelartigen Kurve M . Wird nun durch einen Spülverdichter ein Teil S_v der Luft geliefert, so verbleibt dem Turboverdichter noch der Anteil T_v zu fördern. Die Betriebspunkte des Turboverdichters müssen daher auf der Kurve B liegen. Mit 2 ist ein Betriebspunkt hoher Motorlast, mit 1 ein Betriebspunkt bei tiefer Teillast bezeichnet. Die Kurven P_1 und P_2 sind Pumpgrenzen des Radialverdichters, die sich bei einem im Austrittsdiffusor angeordneten Leitapparat mit engem bzw. weitem Eintrittsquerschnitt ergeben. Die Kurven C_1 und C_2 sind entsprechende Betriebscharakteristiken bei konstanter Verdichterdrehzahl, die so gewählt sind, daß sie durch den Punkt 2 gehen. Bei der Kombination P_1-C_2 arbeitet der Verdichter im Punkte 2, also bei hoher Motorlast, im Bereiche besten Wirkungsgrades. Bei Teillast kommt aber der Punkt 1 links der Pumpgrenze P_2 zu liegen, so daß stabiler Betrieb nicht mehr möglich ist. Um auch im Punkte 1, also bei tiefer Teillast, stabil fahren zu können, muß ein Leitapparat gewählt werden, der die Pumpgrenze P_1 ergibt. Bei großer Motorlast liegt dann aber der Betriebspunkt 2 weit von der Pumpgrenze entfernt, wo der Verdichter nur einen verminderten Wirkungsgrad hat. Es wäre daher erwünscht, eine Verstellvorrichtung zur Verfügung zu haben, um den Punkt 2 bei einer Einstellung fahren zu können, welche die Pumpgrenze P_2 ergibt, und den Punkt 1 bei einer Einstellung, welche P_1 ergibt. Auf diese Weise könnte die Verdichtercharakteristik der Motorlast weitgehend angepaßt werden.

Es sind verschiedenartige Verstelleinrichtungen bekannt, um die mannigfaltigen Aufgaben zu erfüllen, die beim Betrieb von Strömungsmaschinen auftreten und eine Regelung oder Steuerung erfordern. So wird beispielsweise bei einem Radialverdichter eine der Begrenzungswände des Austrittsdiffusors parallel verschoben. Die Verwirklichung dieser Idee ist aber konstruktiv nicht ganz einfach. Es ist auch eine Einrichtung bekannt, um einen Teil des Arbeitsmittels durch einen zwischen Ein- und Austritt des Laufrades in der begrenzenden Wand liegenden Spalt abzuführen, der durch Verschiebung eines Bogenstückes dieser Wand verändert werden kann. Die Ableitung von angesaugtem Arbeitsmittel ins Freie, das bereits einen Teil des Förderweges durch die Maschine zurückgelegt hat, bedeutet nicht-zurückgewinnbaren Energieverlust, der den Verdichtervirkungsgrad wesentlich herabsetzt. Auch darf nicht übersehen werden, daß bei allen Ausführungen mit verschiebbaren Wänden durch vor- oder zurückspringende Ecken und Kanten im Strömungsweg des Arbeitsmittels unvermeidlicherweise Stoß- oder Ablösungsverluste auftreten.

Bei Axialturbinen und -verdichtern werden oftmals verdrehbare Leitschaufeln angewendet. Diese Einrichtung ist sehr zweckentsprechend, doch ist der Verstellmechanismus verhältnismäßig kompliziert und bei kleinen Einheiten kaum unterzubringen. Man verwendet sie vor allem dort, wo mit Hilfe einer empfindlichen Regelung eine Feineinstellung erzielt werden soll, also in größeren Einheiten, bei denen ein Prozent Wirkungsgradverlust bzw. -gewinn sehr ins Gewicht fällt.

Die Aufzählung dieser Nachteile, Schwierigkeiten und Beschränkungen zeigt, daß noch kein allgemein anwendbares Verfahren oder eine danach arbeitende Einrichtung besteht, um mit einfachen und verhältnismäßig billigen Mitteln die Anpassung einer thermischen Strömungsmaschine an die jeweiligen Betriebsbedingungen zu ermöglichen. Dieser Forderung entspricht die erfindungsgemäße Maßnahme bei der im Strömungsweg des Arbeitsmittels der freie Querschnitt durch verschiebbare Leitschaufeln sprungartig veränderlich ist.

In der Zeichnung ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, wofür der beschauelte Diffusor eines Radialverdichters gewählt wurde. Fig. 2 zeigt einen Axialschnitt durch den Diffusor und den Verstellmechanismus nach der Linie II-II in Fig. 3; in Fig. 3 sind ein Radialschnitt durch den Diffusor nach der Linie III-III in Fig. 2 und noch weitere Variationsmöglichkeiten veranschaulicht. In beiden Figuren sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

An das Laufrad 1 schließt der mit Leitschaufeln 2 versehene Diffusor 3 an. Im Gehäuse 4 sind zusätzliche Leitschaufeln 5 untergebracht, die in Richtung ihrer Längsachse in den Strömungsweg des Arbeitsmittels eingeschoben und wieder in das Gehäuse zurückgezogen werden können. Auf diese Weise wird

der freie Querschnitt für das durchströmende Arbeitsmittel sprungartig verändert. Der Durchtritt durch die Gehäusewand 6 erfolgt durch den Schlitz 7, der genau der Profilform der Schaufel entspricht. Zur Vermeidung von Wirbelverlusten ist es von Vorteil, wenn die Deckfläche 8 der Schaufel 5 in der zurückgezogenen Stellung mit der Gehäusewand 6 eine strömungsglatte Fläche bildet.

Um die Hin- und Herbewegung der Schaufeln 5 zu ermöglichen, ist jede von ihnen mit einem Bolzen 9 verbunden, der in einem Lagerkörper 10 geführt ist. Sobald die kolbenartig ausgebildete Unterseite 11 des Bolzens mit Druckgas beaufschlagt wird, bewegt sich dieser nach vorne und schiebt die zusätzliche Schaufel in den Strömungsweg des Arbeitsmittels; läßt der Druck nach, zieht die Schraubenfeder 12 den Bolzen wieder in seine Ausgangslage zurück und ein größerer Strömungsquerschnitt ist freigegeben. Es wäre auch möglich, nicht jede Schaufel und ihren Bolzen mit einem eigenen Antrieb zu versehen, sondern alle Schaufeln über einen Ring zu verbinden, der z. B. mit drei Kraftkolben axial verschoben wird.

Es ist wichtig, daß der Einschiebevorgang zwar rasch, aber nicht zu schlagartig, sondern nur gedämpft vor sich geht, um die Deckfläche 8 der Schaufeln nicht zu beschädigen. Durch zweckmäßige Abstimmung von Gasdruck und Federkraft aufeinander kann das ermöglicht werden. Zur Sicherheit ist an der Innenseite des Lagerkörpers 10 noch ein Anschlag für den Federteller 13 vorgesehen. Andererseits muß dafür gesorgt sein, daß die Schaufel 5 an der Gegenwand 14 dicht anliegt, da jeder Spalt eine Störung der Strömung verursacht.

Selbstverständlich kann die Bewegung der Schaufeln auch durch einen hydraulischen, mechanischen, elektrischen oder sonstigen Antrieb ausgeführt werden. Bei Verwendung von Drucköl ist in den meisten Fällen eine vollkommene Dichtheit gegen das Arbeitsmittel unerläßliche Voraussetzung. Die Verwendung von Druckgas hingegen weist verschiedene Vorteile auf. Der Überdruck verhindert das Eindringen von Staub in den Verstellmechanismus. Es werden genügend große Stellkräfte erzeugt, um die Reibung und andere Widerstände sicher zu überwinden und das Einschieben hinreichend rasch durchzuführen. Auch kann Druckgas dem Arbeitsmittel auf dem Strömungsweg durch die Maschine entnommen werden, steht also jederzeit zur Verfügung. Wird ein Verdichter im Zusammenhang mit einem Verbrennungsmotor verwendet, ist meist auch Druckluft verfügbar.

Es hängt von den Platzverhältnissen, der Art der Strömung an der betreffenden Stelle und dem Ausmaß der gewünschten Verschiebung des Betriebsbereiches ab, welche Form für die zusätzlichen Leitschaufeln jeweils vorzuziehen ist. Eine Lösung besteht darin, die Schaufelzahl im Diffusor zu vergrößern, indem zwischen die schon vorhandenen Leitschaufeln 2 gleichartige Schaufeln 15 eingeschoben

ben werden (Fig. 3). Es entsteht dadurch ein Schaufelgitter guter Wirkung, doch ist die erreichbare Verengung des freien Strömungsquerschnittes und die Verschiebung des Betriebsbereiches nicht sehr groß. Eine bessere Wirkung wird durch dicke Schaufeln 5 erzielt, die einen wesentlichen Teil des freien Querschnittes versperren, jedoch nur bei tieferen Machzahlen zulässig sind. Durch ihre Kürze sind sie konstruktiv leicht unterzubringen. Noch günstiger sind in dieser Hinsicht Schaufeln mit den Profilverformen 16 und 17. Die ersteren stellen einen Vorflügel zu den feststehenden Leitschaufeln dar, während die letzteren sie nach innen verlängern. Mit diesen läßt sich nicht nur eine Verengung des freien Querschnittes, sondern auch eine Änderung des Eintrittswinkels erreichen. Ferner wäre es möglich, mit dem Einschieben derartiger Zusatzschaufeln gleichzeitig die Vorderkanten der feststehenden Leitschaufeln zu reinigen.

Welche Form für die zusätzlichen Leitschaufeln auch gewählt wird, wesentlich ist, daß sie ein rotationssymmetrisches Gitter bilden, das sich dem Gitter der feststehenden Leitschaufeln organisch anpaßt. Statt der sprungartigen Verstellung wäre es prinzipiell auch möglich, nicht alle Schaufeln zusammen, sondern sie gestaffelt, also in Gruppen einzuschieben. Ferner kann es auch vorteilhaft sein, zwei Schaufelformen zu kombinieren und erst das Schaufelgitter mit der einen, dann das Schaufelgitter mit der anderen Schaufelform einzuschieben. Es würden sich damit drei Betriebsbereiche der Maschine erzielen lassen.

Wenn vorstehend als Ausführungsbeispiel für in Richtung ihrer Längsachse verschiebbare Leitschaufeln der beschauelte Austrittsdiffusor eines Radialverdichters gewählt wurde, so lassen sie sich, ebenso gut wie in Kombination mit feststehenden Leitschaufeln, doch auch für sich allein, also z. B. in einem unbeschauelten Diffusor anwenden, gleichermaßen aber für das Vorrotationsgitter, für axial wie für radial durchströmte Maschinen, mit der Einschieberichtung parallel, schräg oder senkrecht zur Rotationsachse der Maschine.

Eine andere, aber dem Wesen nach ähnliche Möglichkeit zur Änderung des freien Strömungsquerschnittes besteht darin, die im Strömungsweg des Arbeitsmittels bereits vorhandenen Leitschaufeln senkrecht zu ihrer Längsachse zu verschieben. In Fig. 3 ist bei der linken Leitschaufel 18 die geänderte Stellung 19 gestrichelt angedeutet. Die Verschiebung kann dabei in der Richtung der Profilachse, aber auch parallel zu ihr erfolgen, z. B. radial nach innen. Das Ergebnis ist in beiden Fällen eine Verkleinerung des Eintrittsquerschnittes in den Leitapparat. Diese konstruktive Lösung kommt praktisch nur für Schaufeln in Frage, deren Längsachse parallel oder schräg zur Rotationsachse der Maschine angeordnet ist. Bei senkrecht dazu stehender Längsachse wäre sie wenig wirkungsvoll.

Wie eingangs erwähnt, wird von Turboverdichtern oftmals ein sehr breiter Fördervolumenbereich mit annähernd konstantem Förderdruck verlangt. Dieser Forderung wird durch die beschriebene Einrichtung mit ihren verschiedenen Variationsmöglichkeiten in genügender und konstruktiv einfacher Weise entsprochen. Für große Volumina wird die Einstellung des Leitapparates mit weitem, für kleine Volumina die Einstellung mit engem Eintrittsquerschnitt gewählt. Die Umschaltung vom weiten auf den engen Querschnitt erfolgt zweckmäßigerweise durch einen Steuerimpuls, sobald sich bei abnehmendem Fördervolumen der Betriebspunkt zu sehr der Pumpgrenze nähert. Dient der Verdichter zur Aufladung eines Zweitaktmotors, wie es beispielsweise in Fig. 1 dargestellt ist, dann müssen seine Betriebspunkte auf der Kurve *B* liegen. Der Punkt 2 wird mit dem weiten Eintrittsquerschnitt gefahren, dem die Pumpgrenze P_2 entspricht. Bei sinkender Last nehmen Fördermenge und Förderdruck ab und der Betriebspunkt wandert nach unten. Bevor er zu nahe an P_2 herankommt oder gar überschneidet, tritt z. B. in der Nähe des Punktes *A* die Verstellrichtung in Tätigkeit. Durch Einschieben von zusätzlichen oder durch Verschieben der im Strömungsweg vorhandenen Leitschaufeln wird der freie Strömungsquerschnitt sprungartig verkleinert und die Pumpgrenze nach P_1 verschoben. Nun können auch kleine Teillasten bis zum Punkte 1 hinunter ohne Pumpgefahr gefahren werden. Bei wieder ansteigender Last tritt sinngemäß der umgekehrte Vorgang ein. Der Impuls zur Schaufelverstellung kann dabei von der Motorleistung, der Motordrehzahl, dem Aufladedruck oder einer Kombination davon ausgehen. Ganz allgemein kann bei jeder Maschine eine ihrer Betriebsgrößen zur Impulsgebe herangezogen werden.

Die beschriebene Einrichtung zur Steuerung einer Strömungsmaschine läßt sich vor allem dort mit Vorteil anwenden, wo es nicht auf eine dauernde Nachregelung zur Einstellung des bestmöglichen Wirkungsgrades ankommt, sondern eine sprungartige, gegebenenfalls stufenweise Änderung des Betriebsbereiches genügt. Eine solche Einrichtung ist konstruktiv verhältnismäßig einfach, daher wenig stör anfällig und niedrig in den Kosten und bedarf nur eines unkomplizierten Impulsgebers, der bei Erreichung des eingestellten Grenzwertes anspricht.

PATENTANSPRÜCHE

I. Verfahren zur Steuerung einer thermischen Strömungsmaschine, die mindestens eine Reihe Laufschaufeln und eine Reihe unverdrehbarer Leitschaufeln aufweist und deren die Strömung durch die Maschine begrenzenden Gehäusewände als feststehende Bauteile ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, daß im Strömungsweg des Arbeitsmittels der freie Querschnitt sprungartig veränderlich ist.

II. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Patentanspruch I, dadurch gekennzeichnet, daß

im Strömungsweg des Arbeitsmittels verschiebbare Leitschaufeln (5, 15, 16, 17, 18) angeordnet sind.

UNTERANSPRÜCHE

1. Einrichtung nach Patentanspruch I, dadurch
5 gekennzeichnet, daß die im Strömungsweg bereits vorhandenen Leitschaufeln (18) senkrecht zu ihrer Längsachse verschiebbar sind.

2. Einrichtung nach Patentanspruch II, gekennzeichnet durch zusätzliche Leitschaufeln (5, 15, 16,
10 17), die im Maschinengehäuse (4) untergebracht und in Richtung ihrer Längsachse in den Strömungsweg des Arbeitsmittels einschiebbar sind.

3. Einrichtung nach Unteranspruch 2, dadurch
15 gekennzeichnet, daß die Deckfläche (8) der in das Maschinengehäuse (4) zurückgezogenen Leitschau-

(5, 15, 16, 17) mit der Gehäusewand (6) eine strömungsglatte Fläche bildet.

4. Einrichtung nach Patentanspruch II, dadurch gekennzeichnet, daß die Leitschaufeln (5, 15, 16, 17, 18) mit Hilfe von Druckgas verschoben werden. 20

5. Einrichtung nach Unteranspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Druckgas dem Arbeitsmittel auf dem Strömungsweg durch die Maschine entnommen wird.

6. Einrichtung nach Patentanspruch II und Unter-
25 ansprüchen 1 und 2 bei einem Verdichter, dadurch gekennzeichnet, daß bei abnehmender Fördermenge und Annäherung des Betriebspunktes an die Pumpgrenze die Leitschaufeln (5, 15, 16, 17, 18) im Sinne einer Verkleinerung des freien Strömungsquer-
30 schnittes verschoben werden.

Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie.

